

重庆市总悬浮颗粒物来源及分布特征^{*}

韩志伟 张美根 雷孝恩

(中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

骆启仁 李勤

(重庆市环境科学研究所, 重庆 630020)

摘 要 利用重庆市污染源和浓度的监测资料, 分析并阐明了大气悬浮颗粒物(TSP)的来源, 各类尘源的贡献率及悬浮颗粒物的物理特征, 得到了总悬浮颗粒物的空间分布特征和日变化规律, 为发展城市大气污染模式和控制治理大气污染提供了理论依据。

关键词: 总悬浮颗粒物; 源贡献率; 粒径分布; 日变化

1 引言

重庆是我国长江上游最大的工业、经济中心, 能源结构以高硫高灰煤为主, 城区各类轻、重工业企业、居民住房和商业区交错分布, 机动车数量高速增长, 道路拥挤, 交通不畅, 人口密度高; 近年经济和城市建设高速发展, 城区许多地方都在进行旧房改造, 道路修建, 工程项目建设, 加上重庆特殊的地理和气象条件, 不利于污染物的扩散, 使得重庆成为典型的煤烟型污染城市。

大气颗粒物(TSP)的污染对城市生态环境构成威胁, 如危害人民身体健康, 降低大气能见度, 腐蚀建筑物和文物, 通过化学反应改变大气成分及其长期的气候效应等^[1~3]。因此, 必须对大气颗粒物进行研究和治理。

为控制和削减大气中颗粒物的含量, 需要了解其来源、物理和化学特性、局地分布特征和变化规律, 为大气污染预测模型及控制对策提供科学基础和理论依据。本文将对重庆市TSP的来源、物理特性及分布特征进行分析。

2 重庆TSP来源解析

重庆市是我国南方城市中TSP污染严重的城市之一, 其污染源主要来自以下几个方面: 工业源, 由工业燃料燃烧、工业窑炉及生产性粉尘(包括冶金、建材、机械制造、建筑业等产生的粉尘)组成; 非工业源, 为二次扬尘及民用燃料燃烧所产生的粉尘。由于不同地方TSP的来源及形成条件不同, 其化学组成和物理化学性质差异较大。

为合理而有效地控制和治理大气污染, 必须定量地研究各类源对污染成分浓度的贡

献率，这可以通过受体模型或接收点模式得到。目前常用的接收点模式主要分两类^[4]，即化学成分质量平衡法（CMB）和因子分析法（CEB）。我们采用 CMB 方法来解析重庆市大气 TSP 来源，天津曾于 20 世纪 80 年代中期^[5]用 CMB 法研究了天津 TSP 的来源，取得了比较好的效果。CMB 法是确定 TSP 污染源贡献率最有效的方法之一^[6]。

根据重庆市能源结构、工业类型、水平分布特征及气象地理条件，我们选择了 6 种类型的 TSP 污染源，即：燃煤烟尘（工业和民用）、行车道路尘、建筑材料尘、钢铁冶金尘、土壤尘、汽车尾气尘，对每一种类型污染源选取多个点多次采样求出总体平均。在受体采样中，每个区设立一个 TSP 采样点，采样点应能反映这个区的人口、工业、交通、能源等特征。污染源及受体采样时间为 1992 年春（4 月）、夏（7 月）、冬（12 月）3 季，采样仪器为 KB-120 采样仪，滤膜采用美国 Whatman 膜，采样点一般设在房屋楼顶，周围无明显尘污染源。

2.1 重庆市不同尘源 TSP 粒径分布特征

我们分析了不同尘源颗粒物的粒径分布特征，得到以下一些结果。除尘后的燃煤烟尘粒径大部分在 10~30 μm ，钢铁冶金尘粒径大都小于 70 μm ，其中小于 10 μm 的占 40%，建筑材料尘粒径大都小于 60 μm ，其中 20~60 μm 约占 95%。

行车道路尘是城区二次扬尘的主要来源，也是 TSP 的重要组成。我们在 8 个典型的路段进行了粒径谱的监测，其统计结果如表 1 所示。

表 1 重庆车道二次扬尘粒径（ μm ）频率分布（%）

测点	< 10	10~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~80	81~100
两路口	5.9		5.7	18.8		32.8		36.8
石桥铺	1.1	3.3	10.7		40.3			44.6
红旗河沟	1.2	7.1	18.7		54.1			18.9
大坪	2.8	6.0	18.6		34.6		38.0	0
杨家坪	2.4	2.9	17.2		36.5		41.0	0
学田湾	10.3	24.9	45.3		14.1		5.1	0
临江门	9.3	16.3	40.9		24.7		8.8	0
沙坪坝	2.0	6.7	18.7		47.7			24.8

从表 1 看出，重庆车道二次扬尘粒径在 100 μm 范围以内，局地特征比较明显，其最大比率的粒径段分布不同，有的在 81~100 μm ，有的为 60~80 μm ，而有的测点则在 21~40 μm 之间，它们与路况条件有着密切关系，要给出一个统一的粒径谱分布函数比较困难。

汽车尾气尘是 TSP 的重要组成部分，含有对人体危害较大的小颗粒，我们对重庆汽车尾气尘粒径分布作了野外监测及统计分析，其结果如表 2 所示。

表 2 重庆汽车尾气尘粒径（ μm ）分布

车型	粒径	>9.0	5.8~9.0	4.7~5.7	3.3~4.6	2.1~3.2	1.1~2.0	0.65~1.0	0.4~0.64
汽油车	样重/mg	2.4	2.5	7.7	3.1	3.5	1.8	1.8	2.3
	%	9.6	10.0	30.6	12.3	13.9	7.2	7.2	9.2
柴油车	样重/mg	0.4	3.3	2.8	1.2	5.0	2.4	0.6	23.4
	%	1.0	8.4	7.2	3.1	12.8	6.1	1.5	59.8

从表 2 看出，重庆汽车尾气尘粒径范围大部分在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下，其中 $0.4\sim 9.0\text{ }\mu\text{m}$ 的比率占 90% 以上，基本属于悬浮的小气溶胶粒子，对居民身体健康有较大危害；汽油车尾气尘粒径最大在 $4.7\sim 5.7\text{ }\mu\text{m}$ 范围，比率为 30.6%，而柴油车尾气尘粒径 $<1\text{ }\mu\text{m}$ 的比率超过了 60%。

2.2 重庆城区 TSP 来源的贡献率

重庆城区不同季节颗粒物的主要来源及其贡献率如表 3 所示。

从表 3 可得出以下结果：重庆城区 TSP 的主要来源为煤的燃烧，其贡献率为 33%~50%，平均为 43%，要改善重庆 TSP 污染的状况必须减少燃煤烟尘，其次是钢铁冶金尘，占尘总量的 35.7%，再次是城市道路二次扬尘，占总尘量的 9.3%，明显小于北方某些城市（北京、天津）的 40%~50%^[7]；不论是 TSP 平均浓度大小还是来源均表现出明显的季节变化，冬季 TSP 平均浓度最高，燃煤烟尘的贡献也最高，但夏季钢铁冶金尘贡献率最大，占 43%；虽然 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、汽车尾气等气溶胶所占比率小，但在小粒径部分的贡献率不能忽略。

表 3 颗粒物源解析结果(%)

源类	春	夏	冬	平均
燃煤烟尘	46.00	33.00	50.00	43.00
钢铁冶金尘	28.00	43.00	36.00	35.67
道路土壤尘	13.00	10.00	5.00	9.33
建筑材料尘	4.00	3.00	2.00	3.00
SO_4^{2-}	5.67	7.47	5.45	6.22
NO_3^-	1.61	1.41	0.23	1.08
汽车尾气等	1.72	2.12	1.23	1.70
TSP 平均浓度 / ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	183	203	301	229

3 重庆 TSP 分布特征

将 1989~1992 年期间 13 个测站资料作时间和空间平均，得到重庆市平均浓度分布，结果如表 4 所示。

表 4 重庆市不同站点监测的 TSP 年平均质量浓度 $\mu\text{g} / \text{m}^3$

测站	市中心	观音桥	沙坪坝	交院	南岸	南坪	特钢	上横街	杨家坪	巴县渔洞	江北两路	九龙坡	大渡口	浓度
浓度	547	322	297	325	251	457	415	339	277	277	233	328	331	338 ± 88
标准差	157	138	60	136	105	133	112	138	124	117	95	110	89	/

从表 4 可得出以下结果：市中心 TSP 浓度最高，其次是南坪和特钢，最低是江北区两路口，市中心的 $547\text{ }\mu\text{g} / \text{m}^3$ 与 SO_2 浓度 $520\text{ }\mu\text{g} / \text{m}^3$ 接近，但最低值两路口的 $233\text{ }\mu\text{g} / \text{m}^3$ 比 SO_2 高；总体平均为 $388 \pm 88\text{ }\mu\text{g} / \text{m}^3$ ，比 SO_2 浓度 $244 \pm 121\text{ }\mu\text{g} / \text{m}^3$ 大；其空间分布的一个特点是郊区的 TSP 浓度也较高，由于郊区工业源污染较小，因此，地表路面或土壤的扬尘可能是一个重要因子。

4 重庆 TSP 浓度日变化

1992 年 3 月 29 日~4 月 19 日在重庆地区进行了 TSP 的连续观测，通过对实测资料的分析发现，地面 TSP 浓度具有比较明显的日变化规律，大部分测点都具有双峰模

态, TSP 浓度在 07:00~11:00 和 17:00~21:00 两个时间段有两个极值, 但最大值出现的时段由于不同测点会有所不同, 如沙坪坝、上横街、特钢、市中心、南坪最大值出现在 17:00~21:00 (图 1a), 这些点主要位于市中心或大的工业区; 而观音桥、上新街、渔洞、大渡口、两路镇最大值出现在 07:00~11:00 (图 1b), 这些点位于市郊或小镇; 而黄山、人和、农科所浓度日变化则是单峰型 (图 1c), 而且浓度日变化不大, 这些点位于乡村或森林。各测点不同的日变化规律与局地污染源的强度和变化规律有关。

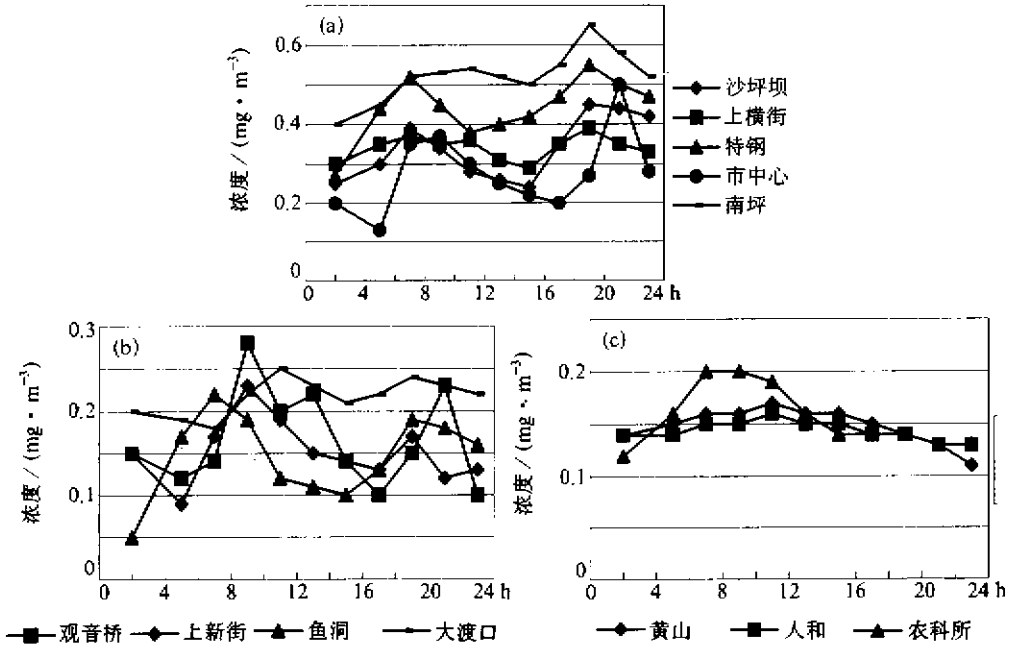


图 1 重庆市 TSP 质量浓度日变化

5 重庆 TSP 浓度随高度分布

利用大气艇于 1992 年 3 月 29 日~4 月 19 日在市中心大田湾体育场探测的资料, 经过归纳分析, 得到白天和晚上 TSP 随高度分布平均廓线 (图 2), 从中得出以下结果: 晚上近地面浓度大于白天, 地面 TSP 最大可达 $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 随高度增加逐渐减小, 晚上近地层浓度较高与近地面逆温层有关 (图 3); 白天最大值出现在 200 m 附近, 浓度可达 $930 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 200 m 以上随高度明显减少, 其递减率大于晚上, 在 1000 m 处, 浓度降至 $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 200 m 的最大值是由于高架源的作用以及白天不稳定条件下上升气流将近地面 TSP 带到高空共同作用的结果; 在 150 m 以下, 白天的 TSP 浓度小于晚上, 150~500 m 之间白天的 TSP 浓度大于晚上, 而 500 m 以上, 白天的 TSP 浓度小于晚上。

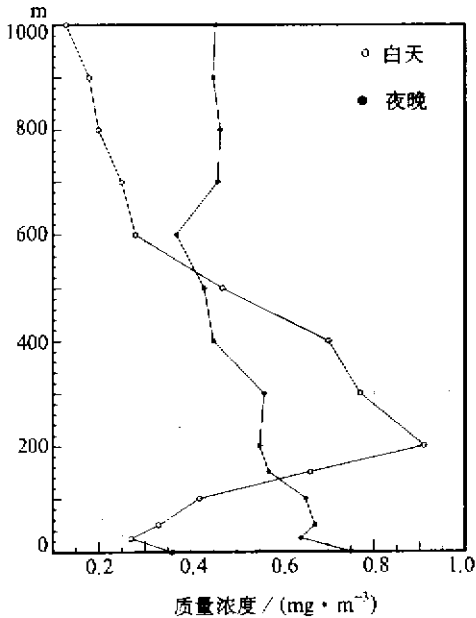


图2 重庆市体育场 TSP 随高度分布

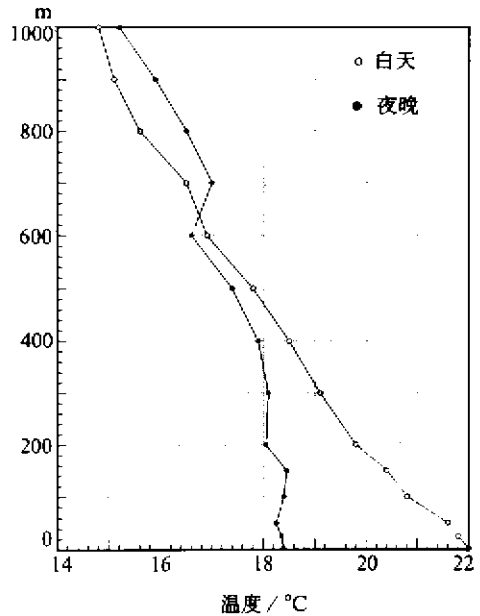


图3 重庆市体育场温度随高度分布

6 结论

(1) 重庆城区颗粒物的来源主要为煤的燃烧, 平均占为 43%; 其次是钢铁冶金尘, 占 35.7%; 城市道路二次扬尘, 占总尘量的 9%, 明显小于北方某些城市。

(2) TSP 空间分布在市中心和工业区最大, 市郊和乡镇次之, 农村和森林最小。

(3) TSP 浓度有明显的日变化规律, 大部分测点呈双峰型, 极大值出现的两个时段为 07:00~11:00 和 17:00~21:00。

(4) 白天 TSP 在 200 m 附近有最大值出现, 晚上近地层浓度大于白天。

参 考 文 献

- 1 Masuda S. and K. Takahashi, *Aerosols: Science, Industry, Health and Environment*, Vol.1, Pergamon Press, 1990.
- 2 Gerber H. E. and Deepak A., *Aerosols and Their Climatic Effects*, A. Deepak Publishing, 1984.
- 3 Charlson R. J. et al., Climate forcing by anthropogenic aerosols, *Science*, 1992, **255**, 423~430.
- 4 王明星, 大气化学, 北京: 气象出版社, 1999, 205~210.
- 5 戴树桂等, 天津市采暖期飘尘来源的解析, *中国环境科学*, 1986, **6**(4), 24~30.
- 6 陈宗良, 北京大气气溶胶小颗粒的测量与解析, *环境科学研究*, 1994, **7**(3), 1~9.
- 7 赵德山, 王明星等, 煤烟型城市污染大气气溶胶, 北京: 中国环境科学出版社, 1991.

The Sources and Distribution Characteristics of Total Suspended Particles in Chongqing City

Han Zhiwei, Zhang Meigen and Lei Xiaoen

*(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Physics and Atmospheric Chemistry,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)*

Luo Qiren and Li Qin

(Chongqing Institute of Environmental Science, Chongqing 630020)

Abstract Based on the datas of sources and concentrations in Chongqing city, The origin of total suspended particles, the contribution rates of different kinds of sources, the characteristics of particles are analyzed and shown in the paper, the spacial distribution and diurnal variation rules of TSP are obtained. The results provide helpful theoretical basis for air pollution model development and air pollution administration.

Key words: total suspended particles; contribution rate of sources; size distribution of particle; diurnal variation